

Uticaj fuzionih generatora na efikasnost gasnog odvodnika prenapona

^a Nemanja Arandžević, ^b Dušan P. Nikezić, ^{b,*} Uzahir R. Ramadani,

^b Ivan Lazović, ^b Nikola Mirkov, ^c Predrag V. Osmokrović

^a Tehnološko-Metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, Republika Srbija

^b Institut za nuklearne nauke "Vinča", Univerzitet u Beogradu, Republika Srbija

^c Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Republika Srbija

Sažetak—Rad je eksperimentalnog karaktera. Formiran je model elektronskog generatora za injektovanje energije u plazmu fuzionog reaktora. Snimanjem nejonizujućeg polja u okolini ovakvog generatora utvrđeno je da je to polje izuzetno velike brzine porasta. Na mestu maksimalnog intenziteta tog polja nejonizujućeg zračenja eksperimentisano je sa komercijalnim odvodnicima prenapona i fleksibilnim modelom odvodnika prenapona. Ustanovljeno je da komercijalni odvodnici prenapona imaju efikasnost oko 20%. Za efikasnost fleksibilnog modela ustanovljeno je da je efikasnost nešto manja od 40% (i da se postigne primenom radioaktivnog zračenja alfa čestica). Pošto nijedna od tih efikasnosti ne garantuje pouzdani rad GFSA zaključeno je da bitna elektronika u blizini fuzionog generatora mora biti zaštićena. Međutim, pošto se ta zaštita može sprovesti samo kod fuzionog reaktora ostaje činjenica da je okolina takvog reaktora izuzetno kontaminirana nejonizujućim zračenjem. Komercijalni odvodnici napona su izolovani za ispitivanje pošto je zaštita elektronskih sklopova od brzih prenapona kritična tačka za funkcionisanje savremene elektronike.

Glavne reči—elektromagnetna kontaminacija životne sredine, GFSA, fuzioni reaktor, brzo elektromagnetno polje

I. UVOD

Rastuća potreba za energijom dovodi do potrebe uvođenja u primenu novih energetske postrojenja. Ta nova energetska rešenja svakako ne trebaju biti zasnovana na fosilnom gorivu. Više razloga je za to. Dva osnovna su što se rezerve kvalitetnog fosilnog goriva smanjuju i što upotreba fosilnog goriva značajno doprinosi kontaminaciji životne sredine [1]–[3]. Takozvani zeleni (alternativni) izvori energije su problematični pošto proizvode električnu energiju po znatno većoj ceni, a nisu ni potpuno bez uticaja na okolinu. Pored toga, što je i najvažnije, takvi izvori su male snage i nisu u

stanju da proizvedu energije tokom radnog veka ni koliko je uloženo u njihovu proizvodnju [4], [5]. Kao rešenje ovog problema nameću se nuklearni reaktori. Nuklearni reaktori, termalni ili brzi, kao gorivo troše uranijum (prirodan ili obogaćeni) pri čemu se energija dobija procesom fisije. Nuklearni reaktori su usled mogućnosti akcidenata sa dugoročnim posledicama veoma nepopularni u većini zemalja [6]–[8]. Međutim, pošto ni rezerve uranijuma nisu velike i pošto je, realno, veliki problem vezan za odlaganje istrošenog goriva fisijih reaktora, definitivno rešenje energetskog problema čovečanstva je u fuzionim reaktorima [9], [10].

Sa aspekta ekologije dobijanja energija na osnovu reakcije fuzije je skoro u potpunosti zelena energija pošto ne proizvodi nikakav radioaktivni otpad koji bi mogao kontaminirati prirodnu sredinu. Nuklearna reakcija fuzije ima u deeksitacionom procesu pojavu gama zračenja. Ovo gama zračenje može da se eliminiše zaštitom dela fuzionog reaktora olovnim pločama. Međutim, mehanizam zagrevanja plazme injektovanjem energije u nju elektronskim snopovima snage TW, širine desetak ns i brzine porasta ns (i manje) izaziva izuzetno nepoželjnu elektromagnetnu kontaminaciju životne sredine. Prvi pokušaj da se ovo izbegne je bio projekat injektovanja energije u plazmu visokoenergetskim laserskim zračenjem. Pokazalo se da u jednom trenutku, pre postizanja praga reakcije fuzije, dolazi do usijavanja plazme. Takva usijana plazma se ponaša kao ogledalo koje odbija elektromagnetne zrake, tj. laserske zrake i sprečava injektovanje energije u plazmu i prelaz energetskog praga za proces fuzije. Elektromagnetno polje koje nastaje prilikom injektovanja elektronskog snopa (opisanih karakteristika) u plazmu ugrožava, u prvom redu, tehnosferu a preko nje i sve ostale aspekte savremenog načina življenja. Naime, u odnosu na tako brza elektromagnetna polja zaštita od prenapona (takozvana koordinacija izolacije na niskonaponskom nivou) postaje neefikasna [11], [12].

Minijaturizacija elektronskih komponenti u velikoj meri smanjuje njihovu otpornost na prenaponske pojave. Prenaponske pojave usled jako brzih elektromagnetnih polja indukuju se u svim (pa i najkraćim) žičanim strukturama. Za izuzetno brze prenaponske pojave prenaponska zaštita nije dovoljno efikasna pa prenaponske pojave mogu izazvati

Nemanja Arandžević Tehnološko-Metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, Republika Srbija, (snemi76@gmail.com)

Dušan P. Nikezić, Institut za nuklearne nauke "Vinča", Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju Univerzitet u Beogradu, Republika Srbija, (e-mail: dusan@vin.bg.ac.rs), (<https://orcid.org/0000-0002-8885-2683>)

Uzahir R. Ramadani, Institut za nuklearne nauke "Vinča", Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju Univerzitet u Beogradu, Republika Srbija (email: uzahir@vin.bg.ac.rs) (<https://orcid.org/0000-0002-3702-0094>)

Ivan Lazović, Institut za nuklearne nauke "Vinča", Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu, Republika Srbija, (e-mail: ivan.lazovic@vin.bg.ac.rs) (<https://orcid.org/0000-0002-3877-5157>)

Nikola Mirkov, Institut za nuklearne nauke "Vinča", Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu, Republika Srbija, (nmirkov@vin.bg.ac.rs) (<https://orcid.org/0000-0002-3057-9784>)

Predrag Osmokrović, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Republika Srbija, (opredrag@verat.net)

oštećenje elektronskih elemenata, sklopova i čitavih uređaja. Pored oštećenja elektronskih komponenti tranzijentni prenaponi mogu prouzrokovati i prolazne poremećaje u funkcionisanju uređaja [13], [14]. Efekti uništenja uglavnom su vezani za poluprovodničke komponente, premda oštećenja izolacije mogu biti i na drugim komponentama. Potrebno je napomenuti da su uništenja elektronskih komponenti spregnutih sa antenama česta pojava.

Elementi prenaponske zaštite mogu se generalno podeliti na nelinearne i linearne. U nelinearne elemente prenaponske zaštite spadaju gasni odvodnici prenapona, varistori i odvodne diode. U linearne elemente prenaponske zaštite spadaju različite vrste filtera. Cilj ovog rada je da se proveri efikasnost gasnog odvodnika prenapona (GFSA – najčešće korišćenog nelinearnog elementa) za koordinaciju izolacije na niskonaponskom nivou polja zračenja elektronskog generatora.

A. FUZIONI REAKTOR (eksperimentalna postrojenja)

Fuzioni reaktori se zasnivaju na činjenici da je energija veze po nukleonu jezgra ^4He maksimalna. To omogućuje da se fizičkim procesom fuzije jezgara deuterijuma i tricijuma dobije jezgro helijuma i oslobodi znatan iznos energije u vidu nukleona i gama zračenja [15], [16].

Kod procesa fuzije postoje dva problema:

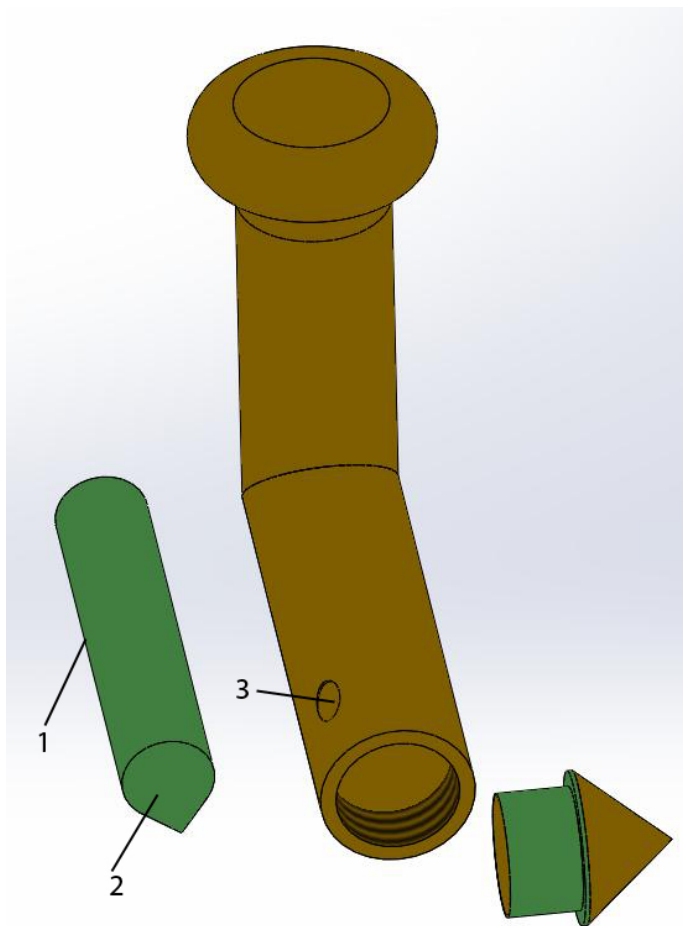
- 1) Egzotermni proces sa visokim energetske pragom.
- 2) Slobodna dužina puta čestice u procesu fuzije je jako velika

Prvi problem se rešava tako da se gasovima koji treba da ostvare fuziju dovodi energija dok ne dođu u plazma stanje na temperaturi iznad praga energije za fuziju. Pošto se pokazalo da injektovanje energije u plazmu laserskim putem nije efikasno usled refleksije laserskog snopa od površine usijane plazme prešlo se na injektovanje energije u plazmu elektronskim snopovima. Drugi problem se rešava što se plazma čestica u procesu fuzije nalazi u izuzetno jakom magnetnom polju. Time se ostvaruje rotacija čestica oko vektora magnetne indukcije i mogućnost prelaska srednje slobodne dužine puta za proces fuzije na malom prostoru. Ovo jednostavno rešenje je razlog što se fuzioni reaktori još ne koriste u komercijalne svrhe je pošto potrošnja energije na održavanje tog magnetnog polja veća od energije koja se dobija procesom fuzije.

Na prvi pogled ovaj princip rada omogućuje dobijanje čiste energije bez ikakvog hemijskog ili radioaktivnog materijala koji treba odlagati pod posebnim uslovima. Međutim, postoji kontaminacija elektromagnetnim i nuklearnim zračenjem. Komponentu gama zračenja u nukleone iz te kontaminacije je lako ukloniti odgovarajućom zaštitom prostora u kome nastaje fuzija. Pitanje eliminisanja nejonizujuće komponente elektromagnetnog zračenja je malo teže rešiti. Ova komponenta nastaje u generatoru elektronskih impulsa i tehnički se ne isplati rešiti je olovom (i drugim) zaštitnim zidovima. Iz tog razloga ova komponenta

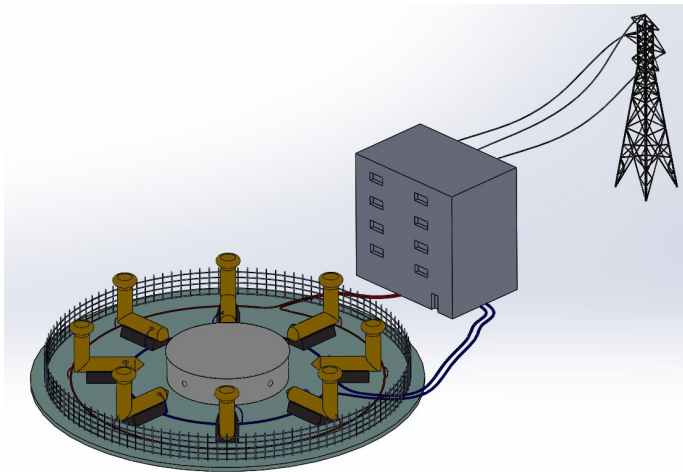
elektromagnetnog zračenja obrazuje elektromagnetno polje u široj okolini elektronskog generatora koje znatno ugrožava funkcionisanje savremenih tehničkih uređaja [17], [18].

Elektronski generator generiše impulse snage TW i širine 1 ns. Da bi se takvi impulsi dobili elektronski generator je dvodelan. Sastoji se od vertikalnog i horizontalnog dela. Vertikalni deo je standardni Marksov generator potopljen u izolaciono ulje i podešen najčešće da daje impulse atmosferskog oblika $1.2/50 \mu\text{s}$. Horizontalni deo se sastoji iz kondenzatora i provodnika za formiranje željenog impulsnog oblika. Interesantno je da su i provodnici i dielektrici kondenzatora u horizontalnom delu često od istog materijala, dejonizovane vode [19], [20]. Na horizontalnom delu se nalazi i naponska sonda za praćenje naponskog oblika impulsa elektron a, slika 1.



Slika 1: Elektronski generator: 1- kolo za oblikovanje impulsa; 2- 50Ω talasovodni prilagodni otpor; 3- pozicija za postavljanje merno-upravljačke sonde

Sonda za praćenje naponskog impulsa je potrebna za sinhronizaciju rada oko deset elektronskih generatora koji trebaju da istovremeno generišu impulse uz minimalni džiter. Na slici 2 je prikazan izgled jednog fuzionog reaktora sa osam elektronskih generatora.

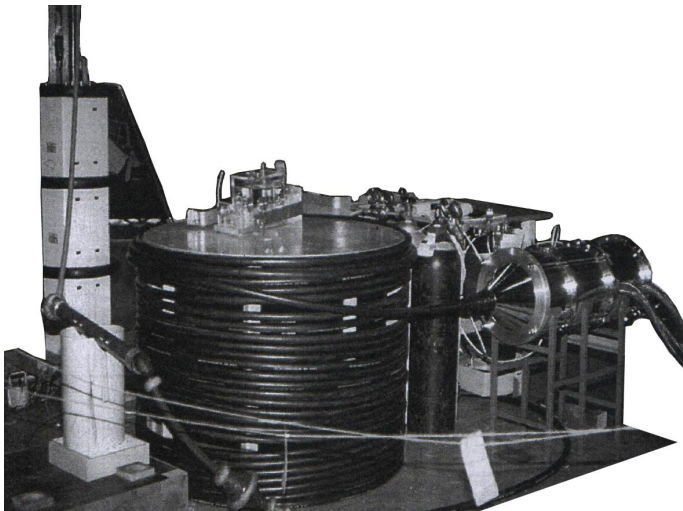


Slika 2: Principijelna šema fuzionog reaktora sa 8 elektronskih generatora

Pošto je elektronski impuls širine oko 5 ns i visine do 10 TW njegova brzina porasta je u nanosekundnoj (odnosno subnanosekundnoj) oblasti. Impulsi takve brzine porasta indukuju u žičanim strukturama elektrotehničkih komponenti izuzetno brze prenapone koji mogu da prođu kroz prenaponsku zaštitu i unište štice komponente (što se posebno odnosi na savremena višeslojna elektronska kola čiji su izolacioni slojevi izuzetno tanki i probijaju ih naponi reda veličine mV i μV) [21], [22]. Ta neželjena pojava se dešava u oblasti više kilometara udaljenoj od fuzionog reaktora.

II. EKSPERIMENT

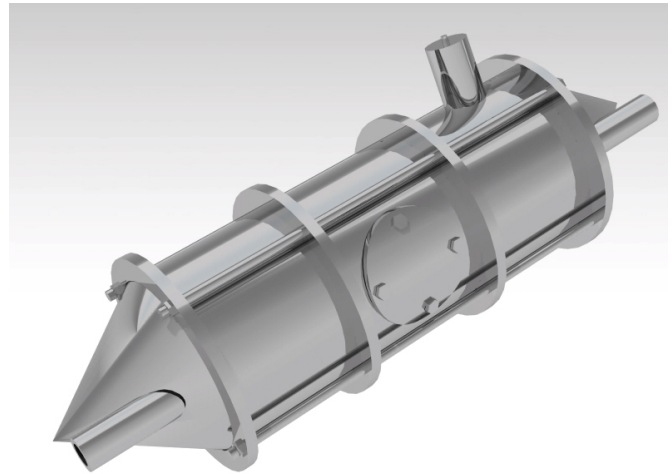
Za eksperiment je korišćen model horizontalnog dela elektronskog generatora napajan kablovskim generatorom, slika 3.



Slika 3: Kablovski generator za generisanje impulsa strmine porasta oko 1 ns

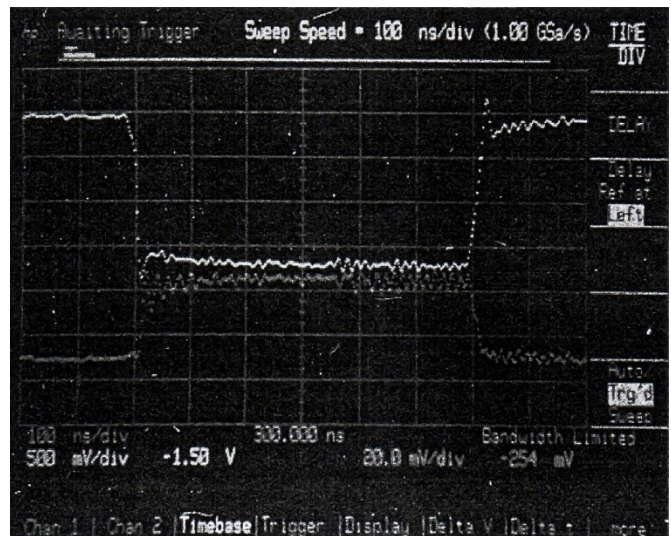
Model horizontalnog dela je bio sa ugrađenom brzom kapacitivnom sondom, slika 4. Kablovski generator generisao

je naponski impuls pravougaonog oblika sa sledećim karakteristikama: 1- temena vrednost pravougaonog impulsa je 50 kV; 2- trajanje temenske vrednosti naponskog impulsa je 600 ns; 3- vreme čela i začelja pravougaonog impulsa je 1-3 ns.



Slika 4: Model horizontalnog dela elektronskog generatora sa ugrađenom brzom kapacitivnom sondom

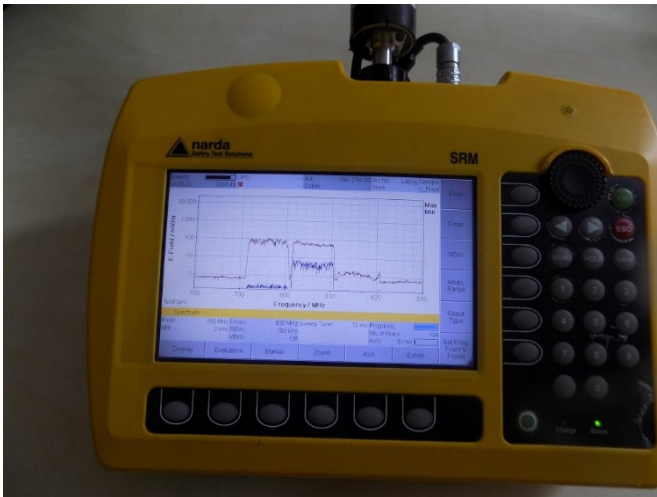
Na slici 5 je prikazan odziv brze kapacitivne sonde modela horizontalnog dela elektronskog generatora na impuls kablovskog generatora. Kablovski generator je okidan troelektrodnim iskrištem izolovanim smešom gasova $\text{SF}_6\text{-N}_2$ [23]–[29].



Slika 5: Odstav brzog kapacitivnog sonde na impuls kablovskog generatora

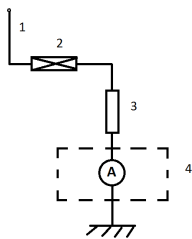
Elektromagnetno polje u okolini horizontalnog dela elektronskog generatora snimano je instrumentom Narda, slika 6.

Na mesto maksimalne vrednosti električnog polja postavljen je gasni odvodnik prenapona, prema šemi na slici 7. Provera prorade gasnog odvodnik vršena je merenjem napona na otpor-



Slika 6: Polje nejonizujućeg elektromagnetnog zračenja nastalo okidanjem modela fuzionog generatora na udaljenosti 1 km od eksperimentalnog postrojenja

niku R (100 MΩ). Napon je meren digitalnim osciloskopom (1 GHz) smeštenim u zaštitnu kabinu zaštite 100 dB [30], [31].

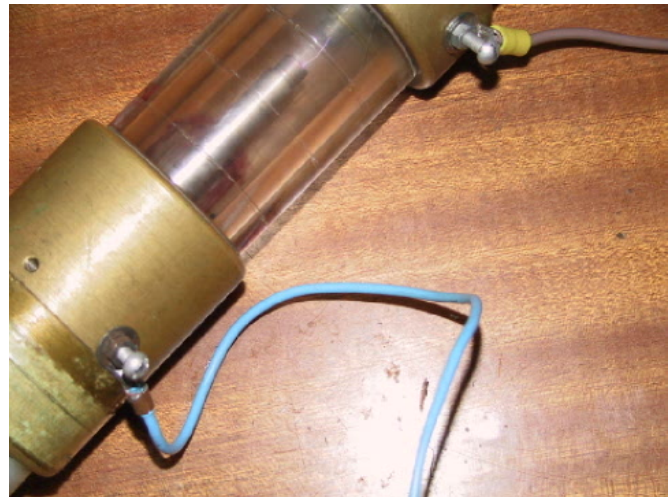


Slika 7: Eksperimentalna šema: 1- antena; 2- gasni odvodnik prenapona; 3- otpor uzemljenja; 4- kabina za zaštitu od elektromagnetnog talasa većeg od 100dB

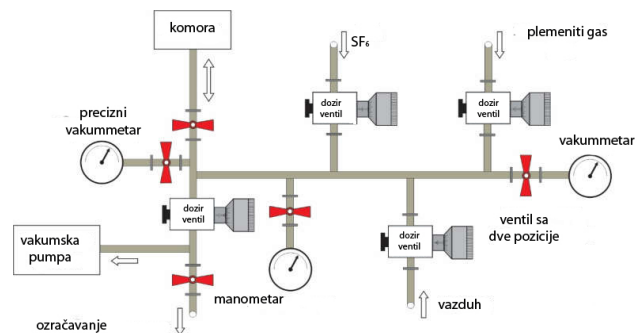
Korišćeni su komercijalni gasni odvodnici i fleksibilni model. Fleksibilni model je prikazan na slici 8. Kod fleksibilnog modela gasnog odvodnika prenapona bilo je moguće menjati oblik elektroda, materijal elektroda, izolacioni gas i međuelektrodno rastojanje.

Korišćene su standardne cilindrične elektrode, tj. elektrode sa šupljinom ispunjenom radioaktivnim izvorom ²⁴¹Am. Pritisak gasa u fleksibilnom modelu se mogao menjati. Korišćeni gas je bio He. Kolo za punjenje i podešavanje pritiska u fleksibilnoj komori prikazano je na slici 7. Radna tačka fleksibilne komore postavljena je na isti radni napon kao što je bila vrednost radnog napona komercijalnih odvodnika prenapona [32]–[35].

Merenja su vršena pod dobro kontrolisanim laboratorijskim



Slika 8: Fleksibilni model gasnog odvodnika prenapona



Slika 9: Gasno kolo za punjenje gasnog odvodnika prenapona

uslovima. Pošto je merena komplementarna veličina (prorada GFSA – ne prorada GFSA) merna nesigurnost tipA i tipB su bile nula [36]–[38].

III. REZULTATI I DISKUSIJA

U tabeli I dati su rezultati ispitivanja efikasnosti odvođenja indukovanih prenapona nastalih okidanjem modela elektronskog generatora. Rezultati u tabeli 1 su dati za tri tipa komercijalnih GFSA različitih proizvođača i istog nominalnog napona.

Tabela I: Eksperimentalno dobijene vrednosti verovatnoće efikasnosti komercijalnih GFSA; p je verovatnoća da GFSA reaguje na prenaponski talas; 1-p je verovatnoća da GFSA ne reaguje na prenaponski talas.

	p	1-p
tipA	18	82
tipB	16	84
tipC	23	77

Poređenjem impulsnih karakteristika komercijalnih GFSA i modela GFSA se pokazalo da model GFSA ima brži odziv na prenapone. Odziv modela GFSA je bio najbrži u

slučaju da je korišćena kombinacija efekta šuplje katode i primene radioaktivnog izvora jonizujućeg alfa zračenja ²⁴¹Am.

Takođe je brzi odziv bio i kada je korišćen samo ili efekat šuplje katode ili efekat jonizujućeg alfa zračenja. Objašnjenje za povećanje brzine odziva primenom efekata šuplje katode i jonizujućeg zračenja je u povećanju broja slobodnih elektrona (potencijalno inicijalnih) u međuelektrodnom prostoru GFSA. Međutim, GFSA koji bi bio konstruisan uz primenu ovih efekata ne bi garantovao efikasnu zaštitu elektronskih sklopova i elektronskih komponenti. To se vidi iz tabele II u kojoj su dati rezultati ispitivanja efikasnosti odvođenja indukovanih prenapona nastalih okidanjem modela elektronskog generatora.

Tabela II: Eksperimentalno dobijene vrednosti verovatnoće efikasnosti modela GFSA; model 1 je efekat šuplje katode zajedno sa efektom jonizujućeg zračenja; model 2 je efekat jonizujućeg zračenja; model 3 je efekat šuplje katode; p je verovatnoća da GFSA reaguje na prenaponski talas; 1-p je verovatnoća da GFSA ne reaguje na prenaponski talas.

	p	1-p
model 1	37	63
model 2	31	69
model 3	29	71

IV. ZAKLJUČAK

U radu je pokazano da zaštita elektronskih komponenti primenom GFSA nije efikasna u blizini elektronskog generatora fuzionog reaktora. To je posledica jer takav generator daje impulse brzine porasta čela i začelja reda veličine 1 ns. Kada se tako brzopromenljivo polje indukuje u anteni (ili bilo kojoj žičanoj strukturi) stvara se prenaponski talas brzine u subnanosekundnoj oblasti (pošto je prenaponski talas ustvari induktivni pik koji se matematičkim putem predstavlja diferenciranjem indukovane struje). U tako kratkim vremenskim intervalima nije moguće pokrenuti mikroskopske procese električnog pražnjenja (koji mogu biti mikrosekundnog trajanja). Što se tiče primene hibridne odvodne šeme sa gasnim odvodnikom, odvodnom diodom (vrlo sličnoj Zener diodi) i varistorom ne može se nadati velikoj pouzdanosti. Razlog za to je što preuzimanje punog prenapona od odvodne diode dovodi do njenog fizičkog uništenja. Rezultat, prikazan u ovom radu, nesumnjivo, pokazuje veću efikasnost odvodnika prenapona sa radioaktivnim izvorom. Ipak to rešenje treba izbegavati jer se na taj način u prirodu ubacuje nekontrolisana primena alfa radioaktivnosti koja je izuzetno opasna ako uđe u lanac ishrane. Iz tog razloga svu elektroniku koja upravlja fuzionim generatorom treba zaštititi olovnim štitovima (šildovima). Ta mera bi obezbedila pouzdan rad fuzionih reaktora ali ne bi sprečila da njegova okolina bude kontaminirana brzim nejoni-zujućim zračenjem što bi rezultiralo nemogućnošću primene savremenih elektronskih naprava u njoj. Međutim, to ne znači da fuzioni reaktori neće, u budućnosti, oko sebe stvarati visoku

elektromagnetnu kontaminaciju životne sredine, naročito u domenu tehnosfere.

ACKNOWLEDGMENT

Istraživanje je finansiralo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Queral, C., et al., Application of Expanded Event Trees Combined with Uncertainty Analysis Methodologies, Reliability Engineering and System Safety, 205 (2021), art. no. 107246.
- [2] Álvarez-Buylla, P. D., et al., Analysis of venting strategies and hydrogen concentration evolution during a station blackout in a BWR-6 containment using GOTHIC 8.3, Progress in Nuclear Energy, 141 (2021), 103930.
- [3] Kaur, R., et al., Environmental Radon, Its Exhalation Rates and Activity Concentration of ²²⁶Ra, ²³²Th, And ⁴⁰K in Northern India, Nucl Technol Radiat, 35 (2020), 3, pp. 268-282.
- [4] Herman, R., Fusion: The Search for Endless Energy, Cambridge University Press, New York, NY, 2020, 527 pages. ISBN: 0-521-38373-0.
- [5] Pejović, M. M., et al., The Possibility for Gamma and UV Radiation Detection Based On Electrical Breakdown Time Delay Measurement in Krypton and Xenon Filled Diodes, Nucl Technol Radiat, 36 (2021), 3, pp. 243-248.
- [6] Kartalović, N. M., et al., Possibility of Application Nuclear Magnetic Resonance for Measurement of Fluid-Flow, Nucl Technol Radiat, 36 (2021), 2, pp. 168-173.
- [7] Wunsch, D.C., Kerr Cell Measuring System for High Voltage Pulses, The Review of Scientific Instruments, 35(1964), 7, pp. 816-820.
- [8] Fan, X., Chen, et al., An Electric Field Measurement Method Based On Electro-Optical Modulation for Corona Discharge in Air, Review of Scientific Instruments, 90 (2019), 084704.
- [9] Kartalović, N., et al., Dose Effect of Gamma Radiation On Reliable Voltage Pulse Measurement in Nuclear Fusion Experiments, Radiation Effects and Defects in Solids, 176 (2021), 3-4, pp. 243-254.
- [10] McCracken, G., Stott, P., Fusion: The Energy of the Universe, Academic Press, London, 2nd Edition (2012).
- [11] Nedić, T. M., et al., Optimization of Fast Three-Electrode Spark Gaps Isolated with a SF6 and He Mixture, Nucl Technol Radiat, 36 (2021), 3, pp. 234-242.
- [12] Osmokrović, P., Djogo, G., Applicability of Simple Expressions for Electrical Breakdown Probability in Vacuum, IEEE Transactions on Electrical Insulation, 24 (1989), 6, pp. 943 - 947.
- [13] Lazarević, D. R., et al., Radiation Hardness of Indium Oxide Films in The Cooper-Pair Insulator State, Nucl Technol Radiat, 27 (2012), 1, pp. 40 - 43.
- [14] Osmokrović, P., et al., Influence of The Electrode Parameters On Pulse Shape Characteristic of Gas-Filled Surge Arresters at Small Pressure and Inter-Electrode Gap Values, IEEE Transactions on Plasma Science, 33 (2005), 5 II, pp. 1729 - 1735.
- [15] Vulević, B., Osmokrović, P., Evaluation of Uncertainty in The Measurement of Environmental Electromagnetic Fields, Radiation Protection Dosimetry, 141 (2010), 2, pp. 173-177.
- [16] Böttscher, C.J.F., Theory of Electric Polarization, Dielectric in Static Fields, Vol. I, Elsevier, Amsterdam, 1973.
- [17] Osmokrović, P., et al., Radioactive Resistance of Elements for Over-Voltage Protection of Low-Voltage Systems, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 140 (1998), 1-2, pp. 143-151.
- [18] Lončar, B., et al., Radioactive Reliability of Gas Filled Surge Arresters, IEEE Transactions on Nuclear Science, 50 (2003), 5 III, pp. 1725-1731.
- [19] Arandelović, N., et al., Influence of Gamma Radiation On Measurement Fast Pulse Voltages by Kerr Electro-Optic Effect, Radiation Effects and Defects in Solids, 176 (2021), 7-8, pp. 747-757.
- [20] Osmokrović, P., et al., Determination of Pulse Tolerable Voltage in Gas-Insulated Systems, Japanese Journal of Applied Physics, 47 (2008), 12, pp. 8928-8934.
- [21] Osmokrović, P., et al., Numerical and Experimental Design of Three-Electrode Spark Gap for Synthetic Test Circuits, IEEE Transactions on Power Delivery, 9 (1994), 3, pp. 1444-1450.

- [22] Erdogan, M., et al., Indoor Radon Activity Concentration and Effective Dose Rates at Schools and Thermal Spas of Ilgin, *Nucl Technol Radiat*, 35 (2020), 4, pp. 339-346.
- [23] Rajović, Z., et al., Influence of SF₆-N₂ gas Mixture Parameters On the Effective Breakdown Temperature of the Free Electron Gas, *IEEE Transactions on Plasma Science*, 41 (2013), 12, pp. 3659-3665.
- [24] Arbutina, D. S., et al., Possibility of Achieving an Acceptable Response Rate of Gas-Filled Surge Arresters by Substitution of Alpha Radiation Sources by Selection of Electrode Material and The Electrode Surface Topography, *Nucl Technol Radiat*, 35 (2020), 3, pp. 223-234.
- [25] Nedić, T.M., et al., N.M., Efficient Replacement of the Radioactive Sources in The Gas-Filled Surge Arresters Construction for The Insulation Co-Ordination at The Low Voltage Level, *Nucl Technol Radiat*, 35 (2020), 2, pp. 130-137.
- [26] Dautbašić, N. J., Mujezinović, A. Z., Time Domain Solution of Electromagnetic Radiation Model Of The Grounding System Excited By Pulse Current, *Nucl Technol Radiat*, 35 (2020), 1, pp. 74-81.
- [27] Osmokrović, P., et al., Influence of GIS Parameters on the Tople Constant, *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, 27 (1992), 2, pp. 214-220.
- [28] Stanković, K., Osmokrović, P., The Model for Calculating the Type a Measurement Uncertainty of GM Counters from The Aspect of Device Miniaturization, *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 61 (2014), 3, pp. 1316-1325.
- [29] Osmokrović, P., et al., Triggered Vacuum and Gas Spark Gaps, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 11 (2005), 2, pp.858-864.
- [30] Djekić, S.B., et al., Passive and Active Shielding Against Electromagnetic Radiation, *Nucl Technol Radiat*, 35 (2020), 4, pp. 331-338.
- [31] Osmokrović, P., et al., Stability of The Gas Filled Surge Arresters Characteristics Under Service Conditions, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 11 (1996), 1, pp. 260-266.
- [32] Osmokrović, P., Djogo, G., Applicability Of Simple Expressions For Electrical Breakdown Probability In Vacuum, *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, 24 (1989), 6, pp. 943-947.
- [33] Stanković, K., et al., Reliability of Semiconductor and Gas-Filled Diodes for Over-Voltage Protection Exposed to Ionizing Radiation, *Nucl Technol Radiat*, 24 (2009), 2, pp. 132-137.
- [34] Pejović, M.M., et al., Successive Gamma-Ray Irradiation and Corresponding Post-Irradiation Annealing of PMOS Dosimeters, *Nucl Technol Radiat*, 27 (2012), 4, pp. 341-345.
- [35] Osmokrović, P., Mechanism of Electrical Breakdown of Gases at Very Low Pressure and Interelectrode Gap Values, *IEEE Transactions on Plasma Science*, 21 (1993), 6, pp. 645-653.
- [36] Osmokrović, P., et al., Reliability of three-electrode spark gaps, *Plasma Devices and Operations*, 16 (2008), 4, pp. 235-245.
- [37] Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement, First edition September 2008, Corrected version 2010, JCGM 2008, JCGM 100:2008.
- [38] Stanković, K., Kovacević, U., Combined Measuring Uncertainty of Capacitive Divider with Concentrated Capacitance on High-Voltage Scale, *IEEE Transactions on Plasma Science*, 46 (2018), 8, pp. 2972-2978.